

Utilizando o fenômeno da difração para medir pequenas dimensões

Gerson Kniphoff da Cruz [gersonkc@uepg.br]
Carlos Henrique Rossi

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Física, Av. Carlos Cavalcanti, 4748, Bloco L; Campus de Uvaranas, Ponta Grossa – PR.

RESUMO

Trabalhar no limite em que os obstáculos a serem vencidos pela luz se aproximam do tamanho do comprimento de onda da luz, é um desafio. Nesta aproximação dois fenômenos se tornam bem evidentes: o fenômeno de difração e o de interferência. No entanto, seus entendimentos são de fundamental importância, pois estes fenômenos, também nos permitem caracterizar e distinguir o comportamento dual das ondas e das partículas. A difração entende-se como o desvio da luz de sua trajetória retilínea de propagação após cruzar a aresta de um objeto. Ela ocorre quando uma parte da frente de onda encontra uma barreira ou um obstáculo. A interferência é a combinação, por superposição, de duas ou mais ondas que se encontram num mesmo ponto do espaço. Neste trabalho propomos o estudo do fenômeno da difração de fenda simples para em seguida aplicarmos os conhecimentos na medida da espessura de um fio metálico e de um fio de cabelo.

Palavras-chaves: difração, Interferência, ensino de física

INTRODUÇÃO

No ensino de uma forma geral quando falamos em óptica, normalmente vem a nossa memória o trabalho com lentes, espelhos e instrumentos ópticos. Para estes estudos tomamos como base os conceitos da óptica geométrica na qual representamos a luz como raios ou linhas que refletem ou refratam em interfaces entre dois meios. Entretanto, muitos aspectos da luz não podem ser entendidos utilizando-se o conceito de raio. Sabemos que a luz apresenta comportamento dual e que em certas situações devemos considerar seu comportamento ondulatório explicitamente.

Certos fenômenos observados no dia a dia somente podem ser entendidos se entendermos dois processos fundamentais: o de difração e o de interferência. Assim sendo, temos como objetivo neste trabalho, trabalhar apenas o processo de difração acima mencionado de forma que possamos distingui-lo e conceituá-lo de forma clara e objetiva. Em seguida, pretendemos aplicar os conhecimentos adquiridos sobre o fenômeno de difração na medida da abertura de uma fenda simples com a intenção de validar a equação dos mínimos de difração e de obtermos um procedimento de medida. Enfim, para finalizar, pretendemos aplicar o mesmo procedimento de medida para a medida do diâmetro de um fio metálico e/ou de um fio de cabelo.

Ainda, pretendemos como objetivo deste trabalho por em prova um trabalho publicado no Caderno Catarinense de Ensino Física [5] o qual utiliza a medida da distância entre os máximos de difração com a aplicação da equação dos mínimos de difração para a determinação do diâmetro de um fio de cabelo. Temos conhecimento que o cálculo é possível, em aproximação de pequenos ângulos, porém com a alteração de que o indexador n seja substituído por $(n + 1/2)$.

Por último pretendemos abordar um assunto que os livros didáticos não dão muita atenção. Nos livros encontramos generalizações para o caso de fenda simples ou fendas múltiplas, porém muitas vezes não mencionam comentários a respeito de figuras de difração obtidas a partir de obstáculos opacos, como é o caso de um fio metálico fino.

Embasamento teórico

Uma grande discussão que surge em sala de aula é a diferença existente entre os fenômenos de interferência e a difração. Não é nosso objetivo detalhar aqui o fenômeno de interferência pretendemos apenas comentar o fenômeno de interferência e em seguida passaremos então ao tratamento do fenômeno de difração. Tomaremos este cuidado inicial com o intuito de deixar claro que entendemos que ambos os processos de interferência e difração são processos distintos. O grande problema é que eles estão interligados causando certa confusão entre os alunos.

A interferência é a combinação, por superposição, de duas ou mais ondas que se encontram num mesmo ponto do espaço. Isto é, se duas ou mais ondas se superpõem, o deslocamento de qualquer ponto da onda em qualquer instante pode ser encontrado pela adição dos deslocamentos instantâneos que seriam produzidos pelas ondas individuais se elas estivessem individualmente presentes naquele ponto [1-4]. Entretanto é bom salientar que em alguns casos esta definição não se aplica. No entanto, esta definição é importante para podermos distingui-la do fenômeno da difração que será definido adiante.

Do que foi exposto podemos concluir que quando duas ondas idênticas se encontram elas podem interferir construtivamente ou destrutivamente. No primeiro caso as ondas estão exatamente em fase e a onda resultante irá apresentar amplitude que é a soma das amplitudes das ondas individuais. No segundo caso uma delas está defasada de meio comprimento de onda. Agora a interferência será destrutiva. Os demais casos encontram-se em condições presentes entre estes dois extremos.

A difração entende-se como o desvio da luz de sua trajetória retilínea de propagação após passar pela aresta de um objeto. Ela ocorre quando uma parte da frente de onda encontra uma barreira ou um obstáculo. Desta definição vemos que a difração é uma propriedade surpreendente das ondas. Além disso, verifica-se que após a passagem da onda pelo obstáculo ocorre uma redistribuição de energia do feixe original e cuja intensidade pode ser projetada sobre uma tela de observação. O que aparece na tela de observação é a chamada figura de difração. Esta figura é composta de pontos de máximos de intensidade e de mínimos de intensidade. Importante é dizer ainda que este fenômeno fica cada vez mais evidente na medida em que a dimensão do obstáculo se aproxima do comprimento de onda da luz [1-4].

Imaginemos uma fenda simples, de abertura a , na qual incide um feixe de laser que é nosso emissor de ondas idênticas (mesmo comprimento de onda e que se deslocam em fase). As ondas idênticas incidem sobre a fenda e sofrem o fenômeno da difração. Como foi ressaltado podemos visualizar a figura de difração sobre uma tela a uma distância D da fenda. A figura de difração apresenta pontos de máximos de intensidade e de mínimos de intensidade, mas como podemos encontrar a posição de um ponto de mínimo de intensidade da figura? Para isso devemos “imaginar” que no canto superior da fenda exista uma fonte emissora de ondas esféricas de mesma frequência da onda incidente. Também devemos “imaginar” que no centro da fenda exista uma outra fonte de ondas esféricas que também emita na mesma frequência da onda incidente. Pensemos o seguinte: para que exista um ponto de mínimo (ponto sem luz) numa posição P da tela de observação devemos considerar que a frente de onda que saiu da parte superior da fenda fique defasada de meio comprimento de onda em relação a frente de onda que partiu do centro da fenda, de maneira a interferirem destrutivamente na posição P . Isto é, no ponto P se produzir um mínimo de intensidade, se $\Delta l = \left(\frac{d}{2}\right) \text{sen } \theta$, onde Δl é a

diferença de percurso percorrido pela onda que saiu da parte superior da fenda em relação a onda que partiu da parte central e θ é o ângulo formado entre a direção normal ao plano da fenda e a direção que une o centro da fenda e o ponto P na tela de projeção. Assim encontraremos que:

$$n\lambda = d \text{sen } \theta \quad \text{com } n = 1, 2, 3, \dots$$

(para pontos de mínimo de difração em fenda simples)

O valor do indexador “ n ” indica que para qualquer múltiplo de uma diferença de fase de meio comprimento de onda obteremos mínimos de intensidade. A diferença é que à distância entre o máximo de intensidade (centro da figura de difração) e o ponto de mínimo indicado pelo valor de “ n ” será alterada. A relação acima é conhecida como a relação dos mínimos de difração. É esta

equação que queremos validar para o caso da fenda simples e em seguida utilizá-la para a medida do diâmetro do fio metálico e/ou de um fio de cabelo.

Procedimento experimental

A metodologia do trabalho experimental é bastante simplificada. Um laser de HeNe incide perpendicularmente sobre uma fenda simples, cuja abertura pode ser modificada manualmente através de um micrômetro. No lado posterior a fenda e a uma distância de 4,38 m estava a tela de observação. Através da medida da distância da fenda até a tela de observação e da distância do ponto de mínimo até o centro do máximo central podemos calcular a tangente do ângulo θ que neste caso é aproximadamente igual ao seno do ângulo θ por estarmos trabalhando na aproximação de ângulos pequenos. Desta forma através da relação dos mínimos da difração podemos determinar a abertura da fenda que era então comparada com a medida realizada no micrômetro. O comprimento de onda do laser foi medido através do uso de um monocromador Jarrell-Ash 0,5 m.

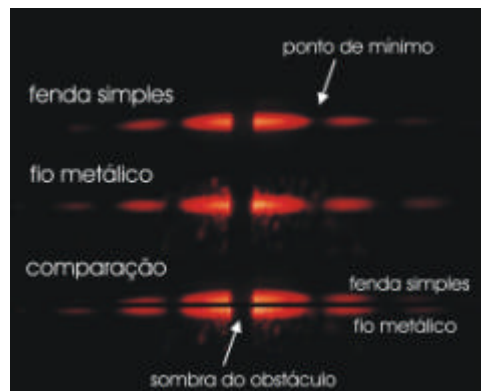
Em seguida, a fenda era substituída pelo fio metálico e pelo fio de cabelo. O mesmo procedimento acima era adotado. Agora o diâmetro calculado era comparado com a medida realizada através de um micrômetro.

RESULTADOS e DISCUSSÕES

Na figura 4 são apresentados os resultados experimentais obtidos em laboratório. Na parte superior vemos a figura de difração da fenda simples. Como pode ser percebido temos uma variação nas intensidades projetadas sobre a tela de observação. Na figura temos a indicação do primeiro ponto de mínimo que fica logo ao lado do máximo central. Repare que o máximo central teve sua intensidade obstruída por um objeto. Este objeto foi posicionado para bloquear a intensidade do feixe do máximo central para que pudéssemos obter a fotografia que é apresentada.

Na seqüência temos a figura de difração obtida com o fio metálico. Também podemos observar a variação de intensidade dos picos.

Figura 4 – Fotografia dos resultados experimentais.



Para podermos fazer a comparação é preciso dizer que o seguinte procedimento foi adotado. Inicialmente obtivemos a figura de difração do fio metálico. Obtida a figura de difração foram marcados os pontos de mínimo e de máximo da figura. Em seguida foi posicionada a fenda simples que foi variada até que a figura de difração obtida apresentasse coincidências entre as marcas dos mínimos e dos máximos de difração obtidos com o fio metálico.

Este resultado além de permitir a comparação que é apresentada na parte inferior da figura permitiu concluirmos sobre nosso primeiro objetivo. Verificar se a figura de difração de fenda simples é igual a figura de difração de um fio metálico.

Experiência para uma fenda simples de 0,068 mm medida pelo micrômetro foi realizada. Encontramos através da difração um valor de 0,073 mm para a abertura da fenda. Neste caso um erro de 7,3%. Para o fio metálico de diâmetro 0,068 mm medida com um micrômetro encontramos através da difração um valor de 0,066 mm. Um erro relativo de 1,9 %. Para a medida do diâmetro do fio de cabelo encontramos os valores de 0,065 mm e de 0,074 mm para medidas com o micrômetro e difração, respectivamente. Um erro relativo de 12%.

Conclusões.

Do trabalho realizado concluímos que a figura de difração de fenda simples é a mesma que a de um fio de cabelo ou fio metálico de mesma dimensão. A partir dos dados experimentais pudemos

validar a equação dos mínimos de difração e aplicá-la para a medida de dimensões de objetos cuja dimensão se aproximam à dimensão da luz utilizada no experimento. Por último, concluímos que o trabalho publicado no Caderno Catarinense [5] apresenta erro na metodologia empregada para a determinação do diâmetro de um fio de cabelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HALLIDAY, D., RESNICK, R. & WALKER, J. “Fundamentos de Física. Ótica e Física moderna” – V.4, 4ª edição, livros Técnicos e Científicos Editora S.A. , 1995
- [2] NUSSENZVEIG, HM. “Curso de física Básica – Ótica, Relatividade e Física Quântica” – V.4, 1ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda., 1998
- [3] SCHAWLOW A. L. “Wavelength of Light with a Ruler” – American Journal of Physics, Vol. 33 (1965), page 922. Copyright 1965 by American association of Physics Teachers.
- [4] SCHAWLOW A. L. & CURRY S. M. “Measuring the Diameter of a Hair by Diffraction” -American Journal of Physics vol. 42 may 1974 p 83-84
- [5] LOPES, E.M. e LABURÚ, C.E. “ Diâmetro de um fio de cabelo por difração(um experimento simples)” - Caderno Catarinense de Ensino de Física, v 18,n.2 p 240-247, ago.2001